

Estudio de la Agricultura de Precisión Enfocado en la Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el Monitoreo de Humedad y Temperatura en Cultivos – Caso de Estudio Hacienda Cabalinus Ubicada en la Provincia de Los Ríos

Vela Andrés¹

¹ Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador

Resumen: Las redes de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Network), consisten en un conjunto de dispositivos, llamados nodos, capaces de obtener información de su entorno, procesarla y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación, esta tecnología permite un enlace con áreas en donde no se veía una posible interacción como es la agricultura. El uso de tecnologías de la información y comunicación en la agricultura tiene como objetivo el racionalizar la toma de decisiones para aplicar la cantidad correcta de insumos (semillas, agroquímicos y correctivos) y su aplicación de acuerdo a lo recomendado según el proceso de producción. En este trabajo se presenta un estudio preliminar de las redes de sensores inalámbricos, sus características, limitaciones, ventajas, desventajas y seguridades que presentan al trabajar con esta tecnología. Así también un punto importante del trabajo está enfocado en el estudio de la agricultura de precisión y como esta rama de la ciencia aporta al agricultor en el mejor manejo de sus plantaciones; Por último con todos los conceptos explicados poder realizar el diseño de la infraestructura de una WSN para el monitoreo de temperatura y humedad del ambiente y humedad del suelo, tomando como caso de estudio la Hacienda Cabalinus ubicada en la provincia de los Ríos.

Palabras clave: Redes de sensores inalámbricos, WSN, agricultura de precisión, infraestructura.

Study of Precision Agriculture with a Focus on Implementing a Wireless Sensor Network (WSN) for Humidity and Temperature Monitoring in Crops – Case Study Cabalinus Farm Located in Los Rios Province

Abstract: The Wireless sensor networks (WSN), consist of a set of devices, called nodes, able to get information from their environment, process and communicate via wireless links to a central coordinating node, this technology allows a bond with areas where a potential interaction was not seen as agriculture. The use of information technology in agriculture has the objective of rationalize decisions to apply the right amount of inputs (seeds, agrochemicals and corrective) and its application according to recommended by the production process. This Case study presents a preliminary study of wireless sensor networks characteristics, limitations, advantages, disadvantages and security's that work with this technology presents. Also an important point of this paper in focused on the study of precision agriculture and as this field of science gives the farmer a better management of their plantations. Finale with all the concepts explained be able to realize the design of the infrastructure of a WSN for monitoring temperature, humidity and soil humidity, taking as a case study Cabalinus Farm located in Los Rios province.

Keywords: Wireless sensor networks, WSN, precision agriculture, infrastructure.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la necesidad de monitorear y controlar un proceso productivo se ha convertido en requerimientos indispensables para el desarrollo de ambientes inteligentes, dentro de la industria, la domótica e incluso la agricultura de redes de sensores inalámbricos (WSN) cumplen una función primordial.

Redes de sensores inalámbricos se refieren a un grupo de sensores enlazados por medio inalámbrico para realizar tareas

de detección y transmisión de datos [1], Estas redes permiten gran flexibilidad en la implementación de sistemas inteligentes de monitoreo y control [2].

La agricultura de precisión es la tendencia que viene marcando la pauta en lo referente a la maximización de los recursos para el cultivo de todo tipo de especies comestibles [3], permitiéndonos controlar el uso óptimo de recursos como el agua y fertilizantes, implementar los ambientes más propicios, lograr el mayor tamaño o la mayor cantidad de

producción Este tipo de tecnología favorece a la reducción de consumo de agua y pesticidas, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y del entorno, adicionalmente puede generar alertas sobre inundaciones o incendios [4].

Por medio de una red de sensores inalámbricos correctamente ubicada se puede obtener valores de parámetros como humedad, temperatura, humedad relativa del suelo, aspectos físicos de las plantas como humedad en las hojas, radiación solar, con la finalidad de detectar oportunamente cualquier inconveniente y poder realizar cualquier tratamiento apropiado a su debido tiempo.

2. MARCO TEÓRICO/METODOLOGÍA

2.1. Redes de sensores inalámbricos WSN

La red de sensores inalámbricos está conformada por varios nodos distribuidos espacialmente, los cuales utilizan sensores para monitorear diferentes parámetros como temperatura, humedad, sonido, vibraciones, presión, movimientos, agentes contaminantes, etc. Los nodos pueden ser considerados fijos a móviles son unidades autónomas que están constituidos de un microcontrolador, una fuentes de energía, generalmente una batería de gran duración, un radio-transceptor RF, y un elemento sensor (Figura 1).

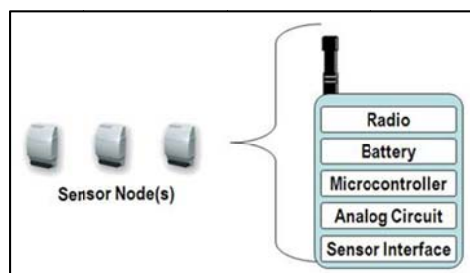


Figura 1. Arquitectura de Nodo sensor
Fuente: Página de internet National Instruments

La WSN está conformada por:

- Nodos, que pueden ser para sensar el entorno, o como router para encaminar los mensajes de los nodos más distantes hacia el centro de control, de acuerdo a la topología de la red.
- Nodos de coordinación o Gateways, que se encargan de receptar la información de los nodos de comunicación de la red y encaminar los mensajes hacia el centro de control. Estos nodos permiten la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.
- La estación base se conecta a los nodos de coordinación para recolectar los datos de la red, generalmente está constituido por un ordenador o un sistema embebido de visualización.

2.1.1. Características de la WSN

Las WSN actualmente están basadas en el protocolo IEEE 802.15.4, el mismo que fue desarrollado a pesar de ya existir protocolos para redes o conexiones inalámbricas como el IEEE 802.11 que define comunicaciones Wireless LAN, o el IEEE 802.16 para las redes MAN. Mientras que estos

protocolos son pesados por lo tanto necesitan mayor consumo de energía y son dirigidos a aplicaciones con un alto consumo de ancho de banda, el protocolo 802.15.4 fue desarrollado con la finalidad de tener bajas tasa de transmisión y aplicaciones en donde la energización se la pueda realizar por medio de baterías [5].

Debido a que el estándar IEEE 802.15.4 no soportaba el mallado de una red (mesh networking) la alianza Zigbee creo el protocolo con este mismo nombre, el mismo toma como base el estándar 802.15.4 y añade funcionalidades de routing y redes.

Con el desarrollo de Zigbee la mayoría los fabricantes han dirigido el desarrollo de dispositivos basados en este protocolo, considerando aplicaciones de bajo consumo de energía y ancho de banda, así como mercados en donde la disponibilidad y versatilidad sea un punto importante. En la siguiente tabla se puede observar una comparativa entre las principales tecnologías inalámbricas y sus diferentes aplicaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas

Tecnología	Aplicación	Vida de batería	Ancho de banda	Rango de funcionamiento	Ventajas
Zigbee y IEEE 802.15.4	Monitoreo y control	Años	250 Kbps	100+ metros	Bajo consumo de potencia, bajos costos
GSM/GPRS CDMA	Áreas amplias de voz y datos	1 semana	hasta 2 Mbps	Varios Kilómetros	Infraestructura existente
IEEE 802.11	Internet de alta velocidad	1 semana	hasta 54 Mbps	50-100 metros	Velocidad ubicuidad
Bluetooth	Conexión entre equipos	1 semana	720 Kbps	10-100 metros	Conveniencia, portabilidad

Nota. Fuente: Acosta M., “Estudio del estándar IEEE 802.15.4 Zigbee para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y su comparación con el estándar IEEE 802.15.1 Bluetooth”, Escuela Politécnica Nacional, Tesis de Ingeniería, Quito.

El protocolo Zigbee trabaja en la misma frecuencia que otras redes inalámbricas o dispositivos Bluetooth, sin que su desempeño se vea afectado, debido a su baja tasa de transmisión y las características propias que añade el protocolo, permitiendo la capacidad de operar en redes de gran densidad. Es importante aclarar que sus bajas tasas de transmisión permiten mayor sensibilidad y cobertura, pero presenta el problema de disminución de velocidad. Con estas características de manejo de información permite bajar el consumo de potencia y con ello alargar la vida útil de las baterías, esto lo hace un protocolo ideal para las WSN [6].

2.1.2. Topología de red WSN

Con las características adoptadas por el protocolo Zigbee, las WSN pueden adoptar tres tipos de topologías: tipo estrella (*Star*), malla (*Mesh*), árbol (*Tree*). La topología se refiere a la configuración adoptada de los componentes de la red tanto de hardware como de transmisión de información. Dependiendo de la aplicación el tipo de topología escogida presenta varias ventajas, y nos brinda la mayor funcionabilidad de la red.

En la topología tipo estrella cada nodo se conecta directamente al *Gateway*, por otro lado en la topología tipo árbol cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía en el árbol y después al *Gateway*, los datos son enrutados desde un nodo de menor jerarquía, mediante una ruta establecida, hasta el *Gateway*. La topología tipo malla ofrece una mayor confiabilidad, ya que los nodos se pueden conectar a múltiples nodos en el sistema y pasar los datos por el camino disponible de mayor confiabilidad. Los diferentes tipos de topologías se describen en la Figura 2

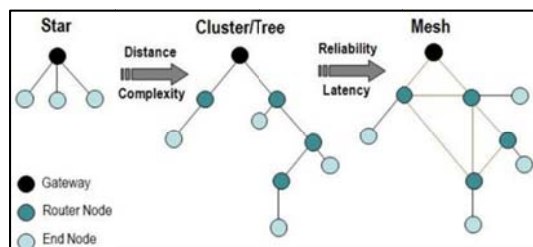


Figura 2: Topologías de red WSN

Fuente: <http://wirelessensornetworkprojecto.blogspot.com>

En la Tabla 2 se presentan las ventajas y desventajas que pueden presentar las topologías de red para las WSN:

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las topologías WSN

Topología	Ventajas	Desventajas
Estrella	<ul style="list-style-type: none"> Gasto energético homogéneo. Sencillez y rapidez en el desarrollo. Fácil de desplegar. Robustez de la red. Baja latencia. 	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a la aplicación no siempre es la más funcional. Escalabilidad baja, posibles colisiones cuando se aumentan el número de nodos Si falla el nodo central cae la red
Malla	<ul style="list-style-type: none"> Menor costo de instalación la no necesitar una gran cantidad de nodos routers para alcanzar escalabilidad. Si fallan uno o varios nodos la red sigue funcionando ya que existen rutas alternativas. 	<ul style="list-style-type: none"> Complejidad del sistema alto. Alta cantidad de colisiones. Empeora la latencia de la red. Falencia en pruebas de laboratorio e implantación real.
Árbol	<ul style="list-style-type: none"> Ventajas de topología tipo árbol. Alta escalabilidad. Menor porcentaje de colisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> La inclusión de nodos encaminadores puede encarecer significativamente la solución final. Puede caer una parte significativa de la red al caer un nodo router. Costoso y difícil de desarrollar algoritmo de enrutamiento dinámico. Baja fiabilidad de los algoritmos de enrutamiento.

Nota. Fuente: S. Saigua, V. Haro, "Evaluación de las topologías físicas de WSN mediante la implementación de un prototipo de medición de variables ambientales para el G.E.A.A.-ESPOCH", página 44, Riobamba Ecuador

2.1.3. Seguridad de WSN basadas en protocolo Zigbee

La alianza *ZigBee* describe las funcionalidades de seguridad basadas en un modelo de confianza abierto para un dispositivo, mediante el cual las diferentes capas de pila de comunicación y todas las aplicaciones se ejecutan sobre un dispositivo de confianza simple[6]. Es así que los servicios de seguridad que proporciona el protocolo *Zigbee* presentan métodos para establecimiento y transporte de claves, protección de tramas y administración de dispositivos.

Zigbee incluye mecanismos de seguridad en las capas MAC, de red y sub capa de aplicación, teniendo en cuenta que la sub capa de aplicación puede presentar parámetros de seguridad como establecimiento y mantenimiento de conexiones seguras, los cuales complementan los procedimientos de seguridad existentes.

Los nodos sensores en una WSN enfrentan varios problemas, debido a que se encuentran limitados tanto en recursos de comunicación como poder computacional. Con esta premisa se debe descartar algunos mecanismos de seguridad existentes ya que no son apropiados para este tipo de sistemas, se puede considerar la implementación de cifrados eficientes de datos pero con el inconveniente de sobrecargar la longitud de los mensajes y por ende el aumento de consumo de energía; es así que la sobrecarga de comunicación se debe minimizar para alargar el tiempo de vida del nodo.

El manejo de claves dentro de los parámetros de seguridad es uno de los métodos más utilizados por las WSN basadas en dispositivos *Zigbee*, se usan claves de enlace y claves de red para establecer una comunicación segura. En el caso de una transmisión *unicast* se comparte una clave de enlace de 128 bits entre dos nodos habilitados, para el caso de una comunicación *broadcast* se comparte una clave de 128 bits a todos los dispositivos de la red. La seguridad de la red dependerá de la inicialización y la instalación de estas claves en los dispositivos.

Las claves se manejan en la capa de aplicación de los nodos, en la capa MAC se proporciona seguridad mediante las especificaciones del estándar 802.15.4, generando seguridad a los mensajes transmitidos a un salto. *Zigbee* utiliza un cifrado avanzado como núcleo de algoritmos de cifrado, permitiendo el uso de mensajes con varios saltos, la MAC procesa la seguridad de las capas superiores y determina los niveles de seguridad a utilizar. Dentro del mensaje la MAC aumenta un bit con lo que indica si la seguridad está habilitada o deshabilitada, cuando se transmite con seguridad habilitada busca el destino del mensaje, para obtener la clave asociada con el nodo receptor, y después procesa la trama de acuerdo al conjunto de seguridad designado por las claves usadas.

La capa de red presenta características de seguridad parecidas a la capa MAC, esta envía mensajes *broadcast* solicitando la tabla de enrutamiento y procesa los mensajes de respuesta recibidos, permitiendo la posibilidad de encaminamiento salto a salto. La capa de red deberá usar la clave de red apropiada para asegurar las tramas salientes.

2.1.4. Ventajas y desventajas de las WSNs

La facilidad de implementar una red de sensores sin la necesidad de una infraestructura física, cables de

comunicación, etc., son las principales motivaciones que el usuario analiza al momento de implementar una WSN.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las WSNs

Ventajas	Desventajas
Confiabilidad: si bien un nodo individualmente esta propenso a pérdidas, daños físicos o de software, la red entera genera una tolerancia a fallo grande, permitiendo que el sistema sea más robusto.	Tamaño de sensores: Debido al tamaño pequeño de los nodos sensores presentan limitaciones de hardware, recursos de energía y memoria.
Flexibilidad: si un nodo tiene algún problema, los nodos vecinos puede procesar la información de la red y así evitar caídas innecesarias.	Rangos de transmisión: Los nodos son capaces de entrar en funcionamiento de acuerdo a la demanda de la red, sin embargo, para ahorrar energía generalmente están fuera de línea.
Auto-organización: el sistema puede alcanzar las estructuras organizacionales necesarias sin la necesidad de intervención humana.	Interfaces: Las interfaces de las WSN están diseñadas para ciclos de tareas optimizados, con complejidad de sistema reducida para funcionamiento de energía ultra baja.
Instalación: no necesitar la conexión de cables entre los sensores permite que la cobertura de red pueda cambiar con solamente instalar nuevos nodos o reorganizando los existentes. Pueden ser instaladas en territorios sin infraestructura o peligrosos.	Recurso de energía: Al poseer limitaciones de hardware ase casi imposible la implementación de fuentes de energía grandes, por ello es importante el combatir este punto mediante software, aplicando algoritmos que posibiliten el ahorro de energía.
Movilidad: los sensores pueden ser desplegados aleatoriamente más que dispuestos en ubicaciones precisas. el nodo sensor puede mover o arreglar su conectividad con otros nodos y también la energía de transmisión requerida para la comunicación.	Costos: en la actualidad existen varias opciones para la implementación de las WSN, pero en ciertos casos el costo limita la aplicación, la cantidad de nodos estará directamente relacionada con la implementación de la red.
Cobertura extendida: Las WSN pueden ser implementadas con un gran número de nodos, sin problemas de interferencias, permitiendo que la cobertura de red se amplíe fácilmente al instalar nuevas redes de sensores inalámbricos.	Facilidad de fallos: Al instalar la WSN en territorios problemáticos, pueden presentarse fallos por la falta de infraestructura o por factores climáticos.

Nota. Fuente: Propia.

2.1.5. Aplicación de las WSNs

Las características de los nodos sensores que forman parte de una WSN, pueden ser definidas de acuerdo al fenómeno que se quiere monitorear, según el tipo de sensor que posee el nodo podrá adquirir información, transmitirla a la red, y en algunos casos ser capaz de tomar decisiones actuando de manera programada mediante el acople de actuadores a los nodos de red. Existen un sin fin de aplicaciones para este tipo de redes, como por ejemplo monitoreando condiciones ambientales como temperatura, humedad, condiciones físicas como el movimiento vehicular, presión, composición del suelo, niveles de ruido, detección de objetos, velocidad, dirección de movimiento, niveles de fuerza mecánica, iluminación, entre otras. Algunas de las aplicaciones de las WSN se detallan a continuación:

- En el campo del medio ambiente representan una gran apoyo ya que permiten el despliegue de estas redes por territorio de difícil acceso, para su protección y preservación, como es el caso de protección de bosque contra incendios, desbordamientos de ríos, áreas de

actividad sísmica, control de emisiones toxicas, control de especies, prevención de fuentes hídricas, etc.

- Las aplicaciones militares fueron la base para el desarrollo de esta tecnología, presentando como ventaja la implementación rápida sin la necesidad de una infraestructura existente, auto organización, los bajos costos, la tolerancia a fallos, así como la seguridad de que algunos nodos sean destruidos por acciones del enemigo sabiendo que esto no afectara a la operación militar en el campo de batalla.
- Otro ambiente donde ha tenido mayor desarrollo es en el campo de la salud, la posibilidad de capturar señales fisiológicas y electromiografías, monitoreando inalámbricamente paciente en tiempo real pero evitando que estos tengan que cargar aparatos grandes y pesados. El desarrollo de aplicaciones para monitorear a pacientes con enfermedades crónicas, pacientes de la tercera edad, ha permitido la detección temprana de problemas cardiovasculares, o aplicar la tele asistencia preventiva [7].
- El sector agrícola ha explotado fuertemente el uso de las WSN, su principal objetivo es el mejoramiento de la producción, implementado sistemas que permitan el monitoreo y actuar ante los parámetro que pueden presentar problemas en la siembra. Se han desarrollado sistemas de monitoreo de humedad relativa, temperatura, dirección de viento, humedad de suelo, PH, radiación solar, etc., todo esto para poder examinar el buen rendimiento del crecimiento en los productos agrícolas eh implementar sistemas que permitan el control de estas variables.
- La domótica se ha actualizado con la implementación de sistemas inalámbricos, permitiendo la automatización de casas de manera más simple y menos invasiva. Instalar sistemas de control de iluminación mediante sensores de luz inalámbricos para prender o apagar luces remotamente, en la actualidad es algo más común, ya que la infraestructura ha bajado sus costos, permitiendo ser accesible para este tipo de aplicaciones. El control de ambientes, la temperatura de un cuarto, el monitoreo por cámaras de video, permite satisfacer las necesidades de las personas de todas la edades permitiendo una mejor calidad de vida.

2.2. Agricultura de precisión

El desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) abarca la mayoría de procesos de producción en la actualidad, encontrando cabida en ámbitos poco usuales para su implementación, entre ellos la agricultura; en este campo se ha desarrollado la agricultura de precisión, englobando un conjunto de tecnologías computacionales, con la finalidad de racionalizar la toma de decisiones para aplicar la cantidad correcta de insumos (semillas, agroquímicos y correctivos) y su aplicación de acuerdo a lo recomendado según el proceso de producción. Esta optimización es posible con la correcta distribución de estos insumos, dependiendo del potencial y la necesidad de cada punto de las áreas a manejar.

Es importante recalcar el papel que cumple la tecnología dentro de la agricultura, ya que no consiste únicamente en

medir las variables existentes en el área, sino también a la aplicación de prácticas administrativas y de acción, que se realizan a partir de esta variabilidad [4]. La medición de las propiedades en el suelo de cultivo, tanto en distancias como en profundidad, es una técnica que se ha venido desarrollando, sin embargo, la posibilidad de identificar, cuantificar, y mapear estas mediciones hacen que la agricultura de precisión sea muy importante para las nuevas prácticas en la agricultura.

Las empresas preocupadas por el desarrollo de la agricultura de precisión dividen este proceso en tres etapas: 1) Recolección de datos, 2) Procesamiento e interpretación de la información, y 3) Aplicación de insumos. (Figura 2)

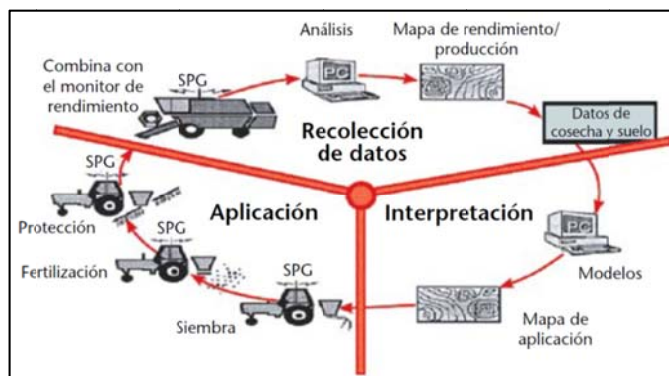


Figura 2: Etapas de la Agricultura de precisión

Fuente: Australian Center for Precision Agriculture AGCO, 2005

Un proyecto de agricultura de precisión utiliza las nuevas tecnologías de información y comunicación para responder las exigencias del mercado competitivo, el mismo que demanda aumentar los volúmenes de producción, bajar los precios y un punto importante evita la contaminación ambiental.

2.2.1. Etapas de la agricultura de precisión

La distribución de terrero para ser estudiado es importante en la aplicación de la agricultura de precisión, el manejo de sitio específico define la administración del terreno en forma diferencial, de acuerdo a las condiciones y características de una porción del lote total. Para el manejo de sitio es importante la recolección de datos útiles del terreno para su estudio, con ello se podrán tomar decisiones importantes asociados a la producción.

Dependiendo de las características del terreno y el alcance del sistema de la agricultura de precisión se necesitan diferentes equipos o tecnologías, como por ejemplo si se tienen lotes que presentan una alta variabilidad del suelo y esto afecta directamente al rendimiento del cultivo es importante aplicar un sistema de dosis variable, la misma que de acuerdo a los datos obtenidos definirá que cantidad de nutrientes o fertilizantes se aplica en cierta porción del lote, esto ayuda al ahorro de materiales y evita desperdicios.

Existen varias maneras adecuadas para la implementación de un sistema de agricultura de precisión, la primera consiste en realizar el mapeo y muestreo de los factores de producción a ser manejados en forma diferencial (fertilidad del suelo, malezas, etc) para con esto realizar mapas de rendimiento y así entregar las indicaciones de aplicación de variables de

insumos (fertilizantes, herbicidas, nutrientes, etc.); la segunda se basa en sensor directamente, en tiempo real, las características del cultivo y del suelo, para la aplicación de los insumos de forma inmediata de acuerdo a las necesidades obtenidas de los datos sensados. La decisión final de implementación dependerá en gran parte del nivel de tecnología disponible y el costo de operación involucrado [8].

Tabla 4: Etapas de implementación de la agricultura de precisión

Etapa	Tecnología involucrada	Actividades
Recolección e ingreso de datos	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de posicionamiento global (GPS). Sistema de información geográfica (SIG). Instrumentos topográficos. Sensores directos. Sensores remotos. 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de la topografía de suelo. Muestreo de suelos en grillas. Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades. Monitoreo de rendimientos. Medición directa de propiedades del suelo y cultivos. Digitalización de mapas.
Análisis procesamiento e interpretación de la información	<ul style="list-style-type: none"> Programas de SIG. Sistemas expertos. Programas estadísticos. Experiencia del operador. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de dependencia espacial. Confección de mapas de evaluación. Confección de mapas de prescripción. Otras.
Aplicación diferencial de insumos	<ul style="list-style-type: none"> Tecnología de dosis variables. Pulverización asistida por GPS. Sistemas de riego especializado. Programas computacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación variable de nutrientes. Aplicación variable de plaguicidas. Siembra diferencial de variedades y aplicación variable de semillas. Riego de sembríos de acuerdo a las necesidades. Otras.

Nota. Fuente: Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico, R. Ortega

2.2.2. Beneficios de la agricultura de precisión

La agricultura de precisión es un área de estudio que ha venido en fuerte crecimiento, tomando impulso junto con el avance de la tecnología que puede ser aplicada a la agricultura, hoy en día podemos observar cada vez más en el campo los principales recursos tecnológicos de información disponibles como los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sistemas de información geográfica (SIG), sensores, actuadores, los sistemas de control y adquisición de datos, entre otros. Sin embargo algunas áreas necesitan un mayor desarrollo para que la agricultura de precisión pueda consolidarse como una solución viable para todos los segmentos de la agricultura [4].

El fundamento de aplicar una agricultura de precisión no solo debe basarse en ser una tecnología de adquisición de información, sino también es necesario considerar a este sistema como una manera de racionalización del sistema de producción agrícola moderno, ya que si es correctamente administrado optimizará la cantidad de insumos a utilizar en el campo (fertilizantes, herbicidas, nutrientes, etc.) consiguiendo con esto reducir los costos de producción y la

contaminación ambiental, permitiendo como resultado final una mejora en la calidad de las cosechas.

Existen área de trabajo en donde se debe hacer mayo énfasis, con la mira de desarrollar aún más a la agricultura de precisión, entre ellas se puede nombrar las siguientes:

- Desarrollo de sensores más especializados los cuales permitan obtener datos como la deficiencia nutricional o el estrés hídrico de la planta durante su desarrollo en tiempo real sin perder eficiencia y confiabilidad del sistema, y así poder realizar los correctivos necesarios a tiempo.
- El desarrollo de programas computacionales que permitan entender de una mejor manera los datos obtenidos por los sensores, que permitan la integración de toda la información realizando análisis adecuados de los mapas y efectuar de un mejor manejo correctivo localizado.

Sin embargo nuevas tecnologías son cada vez más usadas en la agricultura de precisión, hoy en día existen empresas que ofrecen el mapeo de suelos mediante imágenes dinámicas obtenidas con drones, o aplicaciones en donde el drones puede volar rasantemente por el cultivo verificando el estado de las plantas e incluso llegando a contar hasta el número de hojas presentes.

2.3. Valores matemáticos

Estimación de alcance.- Es importante realizar el cálculo matemático para determinar la distancia entre dos nodos o entre un nodo y el Gateway considerando las variables físicas como atenuación, margen de desvanecimiento, sensibilidad de los equipos y la frecuencia de trabajo [9]. La siguiente formula describe la distancia máxima entre dos equipos o nodos:

$$R = 10^{\left(\frac{P_o - F_m - P_r - 10 \times n \times \log_{10}(f) + 30 \times n - 32.44}{10 \times n}\right)}$$

Ecuación 1: Estimación de alcance

Donde,

R: Estimación de rango {m}

Po: Potencia del transmisor {dBm}

Pr: Sensibilidad del receptor {dBm}

n: Exponente de pérdidas por trayectoria

Fm: Margen de desvanecimiento {dBm}

f: Frecuencia de la señal {MHz}

- Exponente de pérdida por trayectoria (n), es la reducción de la densidad de potencia (atenuación) de una onda electromagnética que se propaga a través del espacio.
- Margen de desvanecimiento (Fm), Para el diseño de un sistema inalámbrico es necesario dejar un margen de potencia adicional considerando los efectos climáticos de atenuación, este valor es determinado experimentalmente.

Pérdida por trayectoria.- Para establecer un enlace inalámbrico es necesario determinar la distancia máxima que dos nodos van a estar separados, sin perder fiabilidad en la red. El valor de la pérdida de potencia en la trayectoria se puede conseguir aplicando la siguiente formula:

$$P_d = P_o - 10 \times 2 \times \log_{10}(f) - 10 \times 2 \times \log_{10}(d) + 27.56$$

Ecuación 2: Pérdida por trayectoria

Donde,

Pd: Potencia de la señal {dBm} a una distancia d

Po: Potencia de la señal {dBm} a una distancia 0 de la antena

f: Frecuencia de la señal {MHz}

d: Distancia de la señal desde la antena {m}

Zona de Fresnel.- Una vez determinado los valores de distancias óptimas para establecer el enlace entre los nodos de la WSN, es importante establecer la altura de estos nodos para evitar pérdidas por objetos presentes dentro del terreno. La zona de Fresnel define el valor idóneo para una correcta comunicación inalámbrica, consiste en el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc., y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180° como muestra la Figura 3.

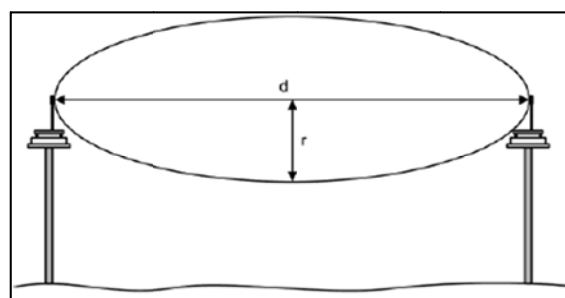


Figura 3: Zona de Fresnel

Fuente: “Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario”, R. Martínez.

La fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta emisor y receptor. La primera zona de Fresnel se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{d}{4 \times f}}$$

Ecuación 3: Cálculo de la primera Zona de Fresnel

Donde,

r: Radio óptimo {m}

d: Distancia entre dos nodos {km}

f: Frecuencia de la señal {GHz}

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño de la infraestructura

3.1.1. Consideraciones del terreno

La implementación de la red WSN para aplicar una fase de la agricultura de precisión se la realizará en la hacienda Cabalinus, cuyas características principales se muestran en la Tabla 5

Tabla 5: Características del terreno, hacienda Cabalinus

Características	Descripción
Ubicación	A 200 m de la parroquia Patricia Pilar del cantón Buena Fe perteneciente a la provincia Los Ríos
Temperatura promedio	25 a 30 °C
Área de siembra	1 Hectárea
Cultivos	Maíz, tomate y yuca.

Nota. Fuente: Propia

La hacienda se encuentra en proceso de reestructuración, con lo cual se piensa realizar la delimitación de las plantaciones de acuerdo a los estudios de suelos efectuados. A partir de la nueva distribución de parcelas de sembrío se tendrán cuatro áreas para sembrar, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4: Distribución de áreas para sembríos en la hacienda Cabalinus
Fuente: Mapa Google Maps, trabajo en mapa propio

Tomando en cuenta la extensión del terreno, se va a realizar dos aportes a la producción de la hacienda, el primero es la instalación de un sistema de riego automatizado debido a la necesidad de ahorrar agua y la segunda un sistema base para implementar la agricultura de precisión, mediante una WSN, que por el momento entregue lecturas de humedad del terreno y temperatura ambiental con la posibilidad de incrementar las características del sistema para poder monitorear más variables físicas del cultivo.

La WSN estará conectada con el sistema de riego automatizado para controlar el horario de encendido del mismo, así también con las lecturas de los sensores se podrá determinar las horas más adecuadas para hidratar el cultivo.

3.1.2. Selección de frecuencia y posibles interferencias

La red WSN está basada en las redes LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Area Network) especificada en el estándar IEEE 802.15.4, este tipo de redes mayormente trabajan sobre la frecuencia de 2.4 GHz debido a la disposición de más canales y a un mayor ancho de banda permitiendo velocidades de transmisión de 250 Kb/s, permite transportar 12 señales analógicas y digitales de 16 bits. Y un punto importante es que esta banda de frecuencia forma parte de las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) reservadas internacionalmente para uso no comercial.

Para el proyecto se utilizará el canal 20 con una frecuencia de 2450 MHz, con este dato es importante verificar las posibles interferencias que puedan causar problemas en la transmisión de datos. La banda de frecuencia de 2.4GHz es una banda libre por lo cual sobre esta pueden estar implementadas varias aplicaciones, para la hacienda Cabalinus el área de sembríos se encuentra en una zona alejada de las oficinal principales, por ello no existen fuentes de transmisión inalámbrica que puedan causar problemas en la WSN.

3.1.3. Hardware

El modulo integrado Waspote es la base del sistema, se encarga de recolectar los datos obtenidos de los sensores, procesar la información y transmitirla de manera omnidireccional hacia los nodos adyacentes o hacia el

Gateway. Las especificaciones técnicas de los elementos que conforman el módulo integrado Waspote se describen a continuación:

Tabla 6: Especificaciones modulo integrado Waspote

Dato	Descripción
Microcontrolador	ATmega1281
Frecuencia	14,7456 MHZ
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
FLASH	128KB
SD Card	2GB
Peso	20gr
Dimensiones	73,5 x 51 x 13 mm
Rango de temperatura	[-10°C, + 65°C]
Reloj	RTC (32 KHz)

Nota. Fuente: Waspote Technical Guide, Libelium, 2016, pag 40

Módulo de comunicación.- Este módulo permite a los nodos interconectarse de manera inalámbrica entre sí, y enviar la señal hacia el Gateway para que sea procesada en el centro de control. La WSN para la aplicación en la hacienda Cabalinus estará diseñada bajo el protocolo ZigBee, con este se utilizará el modelo Pro de la compañía Libelium (Figura 5)



Figura 5: Módulo de comunicación Pro
Fuente: Waspote Technical Guide, Libelium, 2016, pag 18

Con este módulo de comunicación los nodos podrán funcionar como nodos sensores o como nodos routers, de acuerdo a la topología que se designe para el proyecto, la diferencia de cada tipo de nodo está basada en el hardware conectado a cada nodo y la programación que se realiza al microcontrolador del módulo integrado.

Gateway.- Este módulo recibirá la información enviada por los nodos sensores y procesa la información hacia el centro de control. Mediante software interpreta la información que llega en protocolo IEEE 802.15.4/ZigBee y la hace compatible con protocolo TCP/IP para presentarla al administrador de la red. El modelo que se seleccionó para la esta implementación es Waspote Gateway de la empresa Libelium, posee comunicación 802.15.4/ZigBee - USB PC.



Figura 6: Gateway, Waspote Gateway
Fuente: Waspote Technical Guide, Libelium, 2016, pag 18

Sensores.- La aplicación de la WSN para la hacienda Cabalinus podrá adquirir datos de tres variables importantes para la administración del sistema automático de riego, se instalarán en cada nodo un sensor de temperatura y humedad de ambiente, y un sensor de humedad de suelo.

Para el proyecto se utilizará el módulo sensor de humedad YL-69. El módulo sensor de humedad de suelo que utiliza la conductividad entre sus dos terminales para determinar ciertos parámetros relacionados a agua, líquidos y humedad. Consiste en una sonda HL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD muy estable, un led de encendido y otro de activación de la salida digital, dos pines de alimentación y dos salidas una digital y otra analógica.

Para la adquisición de datos de temperatura y humedad del ambiente se utilizará el sensor DHT22 que es de gran sensibilidad y de bajo costo, permite la lectura de temperatura en decimales para aplicaciones en donde se necesita una mayor precisión. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circulante, envía los datos mediante una señal digital. Posee un procesador de señales digitales AM2302 que permite calibrar los valores tanto de temperatura como de humedad de acuerdo a la aplicación, y puede realizar lecturas cada 2 segundos.

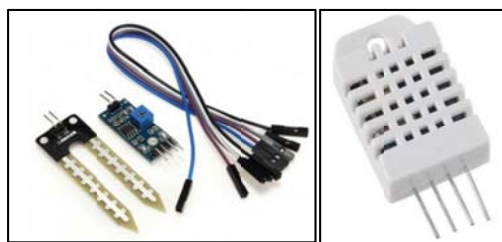


Figura 7: Sensor de humedad de suelo YL-69 y Sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT22

Fuente: Datasheet de sensores

Fuente de alimentación.- El módulo integrado Wasmote viene con una batería de Ion-Litio con un voltaje nominal de 3.7 V, de acuerdo a la necesidad tiene la posibilidad de tener 6600mAh recargable o 13000mAh, 26000mAh y 52000mAh no recargable. La carga de la batería se la realiza mediante puerto USB, o también existe la posibilidad de utilizar paneles solares como fuente de alimentación.

3.2. Análisis matemático

3.2.1 Estimación de alcance

Para el caso de la WSN a instalarse en la hacienda Cabalinus se consideran los dispositivos inalámbricos de las mismas características, con esto se tienen los siguientes valores para aplicar la Ecuación 1

$$P_o = 63.1 \text{ mW} = 18 \text{ dBm}$$

$$P_r = -100 \text{ dBm}$$

$$n = 2 \text{ (de acuerdo a la Tabla 14)}$$

$$F_m = 20 \text{ dBm (considerando valores experimentales de acuerdo al clima de la hacienda)}$$

$$f = 2450 \text{ MHz}$$

Con estos valores la Ecuación 1 queda de la siguiente manera:

$$R = 10^{\left(\frac{18-20-(-100)-10 \times 2 \times \log_{10}(10)+30 \times 2-32.44}{10 \times 2}\right)} = 774.2 \text{ m}$$

Con esta ecuación se obtiene la distancia máxima que puede tener el enlace inalámbrico de la WSN de la hacienda Cabalinus, en los planos de diseño se señalará la distancia real de acuerdo al terreno a abarcar.

3.2.2 Pérdida por trayectoria

Para establecer los valores de la Ecuación 2 es necesario determinar las distancias reales entre los nodos, de acuerdo al terreno donde se instalará la WSN, para la hacienda Cabalinus, se tiene una distribución de nodos como se muestra en la Figura 8.

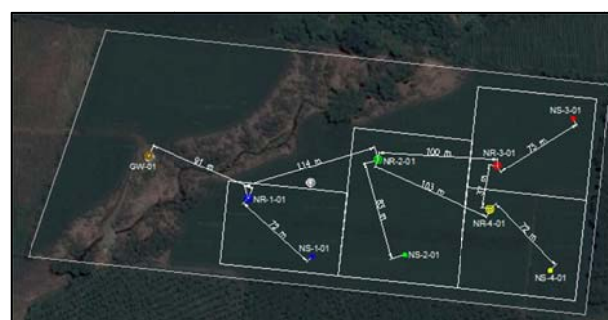


Figura 8: Ubicación de nodos en la hacienda Cabalinus

Fuente: Mapa Google Maps, trabajo en mapa propio

Con los datos de la distribución de los nodos, se obtienen las distancias de espaciamiento para los nodos, y estos datos se reemplazarán en la Ecuación 2. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

$$P_o = 18 \text{ dBm}$$

$$f = 2450 \text{ MHz}$$

$$d = \text{Valor de } x \text{ según Tabla 7 } \{m\}$$

Con estos valores la Ecuación 2 queda de la siguiente manera:

$$P_d = 18 - 10 \times 2 \times \log_{10}(2450) - 10 \times 2 \times \log_{10}(x) + 27.56 = \text{dBm}$$

Tabla 7: Valores obtenidos para Pérdida por trayectoria (Pd)

De nodo	hacia nodo	distancia (x)	Pd
GW-01	NR-1-01	91 m	-61,4 dBm
NR-1-01	NS-1-01	72 m	-59,4 dBm
NR-1-01	NR-2-01	114 m	-63,4 dBm
NR-2-01	NS-2-01	83 m	-60,6 dBm
NR-2-01	NR-3-01	100 m	-62,2 dBm
NR-2-01	NR-4-01	103 m	-62,5 dBm
NR-3-01	NS-3-01	75 m	-59,7 dBm
NR-4-01	NS-4-01	72 m	-59,4 dBm
NR-3-01	NR-4-01	37 m	-53,6 dBm

Nota. Fuente: Propia.

De acuerdo a la sensibilidad del equipo, que es -100 dBm, el enlace no presenta problemas con las pérdidas de trayectoria y es posible establecer un enlace con la infraestructura designada para el proyecto.

3.2.3 Zona de Fresnel

Con los resultados obtenidos y la ubicación de los nodos en la zona de siembra de la hacienda Cabalinus, se tienen los siguientes valores para aplicar la Ecuación 6. Los resultados se muestran en la Tabla 8

d: Valor x según Tabla 8 {km}

f: 2.45 {GHz}

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{x}{4 \times 2.45}} = 1.6 \text{ m}$$

Tabla 8: Valores obtenidos de la primera Zona de Fresnel

De nodo	hacia nodo	distancia (x)	Altura (m)
GW-01	NR-1-01	0,091 km	1,7 m
NR-1-01	NS-1-01	0,072 km	1,5 m
NR-1-01	NR-2-01	0,114 km	1,9 m
NR-2-01	NS-2-01	0,83 km	1,6 m
NR-2-01	NR-3-01	0,100 km	1,7 m
NR-2-01	NR-4-01	0,103 km	1,8 m
NR-3-01	NS-3-01	0,075 km	1,5 m
NR-4-01	NS-4-01	0,072 km	1,5 m
NR-3-01	NR-4-01	0,037 km	1,1 m

Nota. Fuente: Propia.

3.3. Topología de red

La topología de red permite el control de algunos parámetros de la red, como la complejidad de programación o el consumo de energía, es importante realizar una selección adecuada de acuerdo a la necesidad del proyecto. Las ventajas y desventajas de cada topología se muestran en la Tabla 2, con estos antecedentes considerando el hardware seleccionado, la topología del terreno y la distribución de nodos se seleccionó la Topología tipo Árbol.

Una razón importante para la aplicación de esta topología es las características del terreno, ya que al tener zonas distantes es necesario tener una alternativa de escalabilidad de la red pero siempre y cuando se asegure siempre el acceso a la red sin retardos mayores.

El protocolo ZigBee basa su enrutamiento en el tipo de comunicación por saltos, para establecer una ruta entre dispositivo origen y un destino. El enrutamiento tipo árbol permite a los paquetes de información salten de nodo a nodo hasta llegar al destino final por medio de los nodos ruteadores, los nodos coordinadores o router establecen las rutas de origen y destino aplicando el descubrimiento de ruta o "Route Discovery", basado en el protocolo AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing) el cual hace uso de tablas que se almacenan en cada nodo para dar próximo salto posible. La distribución de los nodos de acuerdo a la topología seleccionada se mostrará en los planos de diseño.

3.4. Arquitectura de la WSN

De acuerdo a la distribución modelada en los numerales anteriores, se puede determinar cómo estará constituida la WSN y que tipos de nodos estarán presentes de acuerdo a las necesidades de la aplicación en la hacienda Cabalinus. Con la topología de red definida, la incorporación de nodos de distintas categorías dependerá de las rutas para enviar información, de los requerimientos tecnológicos necesarios para monitorear una determinada área y las ventajas que ofrezca a la red. Para esta aplicación es necesario nodos sensores, ya que estos se encargaran de sensar parámetro de temperatura, humedad y humedad del terreno, enviarán la información hacia el cuarto de control para con estos datos poder interactuar con el sistema de riego automatizado que se instalará en la hacienda.

El nodo sensor debe poseer características tecnológicas limitadas, debe estar integrado únicamente por los módulos necesarios, por esto poseerá los siguientes componentes: el módulo integrado con su memoria interna, el módulo de comunicaciones, fuente de alimentación y las interfaces seriales en donde irán conectados los sensores de temperatura y humedad y el sensor de humedad del terreno.

Entre los principales requerimientos que se requiere del nodo sensor se encuentran: el consumo mínimo de energía tanto del microcontrolador como en la transmisión y recepción de las señales, la posibilidad de configuración inalámbrica o vía la red, y tener compatibilidad con el estándar de comunicación de toda la red.

El nodo Router posee las mismas características de los nodos sensores con la diferencia de que necesita más memoria para poder conservar las tablas de enrutamiento de la red. Para ello el módulo integrado posee un slot para colocar tarjetas de memoria micro SD y así aumentar espacio de memoria al nodo.

El Gateway es el encargado de procesar la información de la red, realiza la conversión de estándares de comunicación y envía los datos para interpretarlos en la estación base. Posee un equipo de mayores prestaciones (CPU y memoria) ya que se encargará de receptar los paquetes de información, procesarla, coordinar los procesos o acciones a realizar, distribuir la información y almacenarla en una base de datos para llevar registros y permitir al administrador del sistema tome decisiones más precisas.

La arquitectura de la red es delimitada en la fase de diseño de la infraestructura, por ello para el proyecto de la hacienda Cabalinus se dispondrá de una arquitectura distribuida, la cual permite a los nodos sensores comunicarse solo con otros nodos dentro de su alcance para que de esta manera la WSN sea capaz de soportar la movilidad de los nodos al funcionar como una red ad hoc constituida por áreas que permitan optimizar las tablas de enrutamiento y alcanzar una eficiencia energética permitiendo el incremento de la escalabilidad de la red y organizando sus nodos.

La arquitectura de red mostrada en la Figura 9 muestra la escalabilidad que podrá tener la WSN a instalar en la hacienda Cabalinus, para la primera fase de este proyecto cada área contará con un nodo sensor, y otro que funcionará como nodo sensor y nodo router, en los planos de diseño se podrá observar la distribución de los mismos.

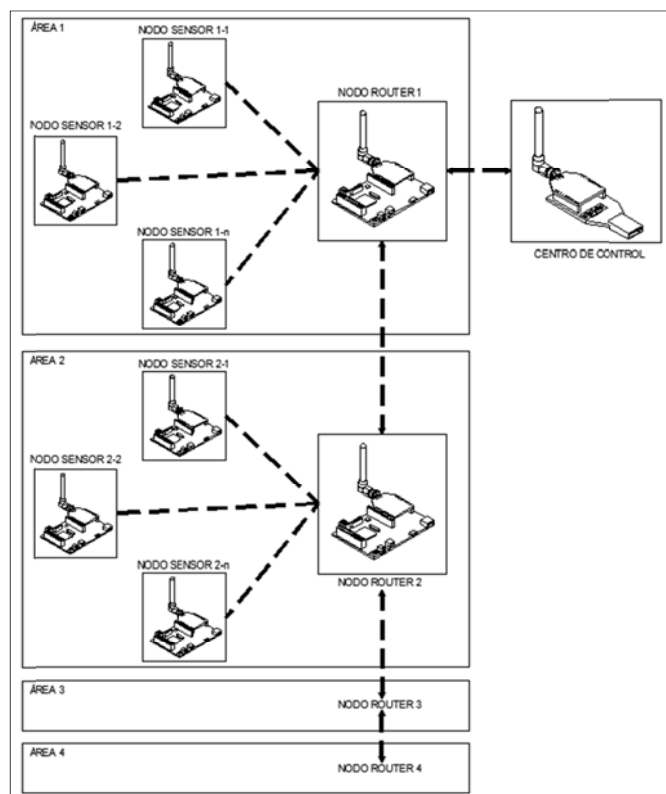


Figura 9: Arquitectura de la WSN general, para la aplicación de la hacienda Cabalinus.

Fuente: Imágenes Waspnote technical guide, Arquitectura propia.

3.5. Parámetros configurables de la WSN

Un punto importante del diseño de la infraestructura es determinar los parámetros que serán configurados por software, delimitar el firmware de los nodos para que la red funcione sin problemas y de información llegue sin retardos. Entre los principales atributos parametrizables a configurar se encuentran enumerados en la Tabla 9

Tabla 9: Parámetros configurables en la WSN

Tipo de nodo	Parámetro
Nodo Sensor y Nodo Router	Nombre del host o equipo
	Clave del sistema, criptográfica
	Dirección Mac
	Tabla de direcciones (mapping table)
	Puerto
	Service Set identifier SSID
Gateway y Estación Base	Nombre del host o equipo
	Clave del sistema, criptográfica
	Dirección Mac
	Dirección IP del nodo
	Tabla de direcciones (mapping table)
	Puerto Puerta de enlace

Nota. Fuente: Propia.

3.6. Modelo de comunicación

El modelo de comunicación permite a un red trabajar de acuerdo a las necesidades de la aplicación, para la WSN a instalar en la hacienda Cabalinus se definió utilizar un modelo basado en grupos, este modelo se basa en la creación de grupos de nodos que poseen las mismas características y trabajando con un flujo de datos comunes.

El proyecto de la hacienda Cabalinus contempla la siembra de diferentes vegetales en las cuatro áreas destinadas para el proyecto agrario, por ello al implementar una agricultura de precisión los nodos ubicados en cada área manejarán diferentes parámetros de control, el modelo de grupos permite segregar a los nodos de cada área para que estos manejen únicamente la información relacionada a su proceso de cultivo, evitando así el malgasto de consumo energético en los nodos sensores ya que no procesarán más información de la necesaria. De acuerdo a la arquitectura mostrada en la Figura 9 los nodos sensores de un área tendrán un nodo router, el mismo que será responsable de encaminar la información hacia los otros nodos router permitiendo que la informa viaje más rápido hacia la estación base.

La comunicación dentro del grupo trabajará de modo mono salto, el cual contempla un único salto de información entre el nodo sensor y el nodo router, evitando los saltos innecesarios entre nodos para alcanzar al nodo router.

Este modelo de comunicación se configurará cuando se incorporen los demás nodos sensores a las áreas de cultivo, para la primera fase que consiste únicamente en dos sensores por área se utilizará un modelo Multisalto que permite a la información ir de nodo en nodo hacia la estación base por la ruta más cercana, esto evita la complejidad de programación de rutas ya que el no tener un numero amplio de nodos la información no se retrasará en la llegada.

3.7. Protocolo de enrutamiento

El protocolo de enrutamiento más utilizado para redes inalámbricas es el AODV (Ad Hoc Distance Vector) que es una evolución del protocolo DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector), AODV define el uso de tablas de enrutamiento en cada nodo para evitar llevar estas rutas en los paquetes de datos, cada ítem dentro de la tabla de enrutamiento lleva asociado un número de secuencia y un temporizador o lifetime, estos parámetros permiten conocer si una ruta ya ha caducado y evitar enlaces de los que no se conoce su estado. En las actualizaciones de este protocolo se incorpora el concepto de encaminamiento bajo demanda con lo cual solo se guarda la información de los nodos que intervengan en la transmisión de datos, también se mejoró el tiempo de proceso de la información, se disminuyó el gasto de memoria, se redujo el tráfico de control de la red y permite la transmisión Unicast y Multicast.

Existen varios análisis sobre los principales protocolos de enrutamiento, de los cuales se resalta los aportes del uso del protocolo AODV como las métricas de consumo energético y enlaces entre nodos, convirtiéndolo en uno de los protocolos más utilizados en la actualidad [10].

3.8. Elaboración de planos de diseño

De acuerdo a los datos obtenidos en el diseño teórico se realizará la elaboración de planos, entre los primeros pasos a seguir es realizar el geo posicionamiento de la Hacienda Cabalinus, para poder digitalizar el mapa.

Para la digitalización de mapa de la hacienda se tomó puntos de la topografía mediante un GPS, el mismo que entrega valores en coordenadas geográficas. Para poder geo posicionar estos puntos es necesario convertir estas coordenadas a coordenadas UTM. En la Figura 10 se muestran los cuatro puntos límites de la hacienda y en la Tabla 10 su conversión a coordenadas UTM.



Figura 10: Ubicación de puntos límites de la hacienda Cabalinus para la digitalización de mapas

Fuente: Mapa Google Maps, trabajo en mapa propio

Tabla 10: Conversión a coordenadas UTM de puntos límites hacienda Cabalinus

Punto	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM	
	Latitud	Longitud	Norte	Este
P1	-0,644624	-79,438442	9928723,6659	673773,4843
P2	-0,646333	-79,439025	9928534,0558	673708,1987
P3	-0,646775	-79,434830	9928485,2603	674175,6841
P4	-0,645038	-79,434642	9928677,4275	674196,8921

Nota. Fuente: Propia.

Para el proyecto de la hacienda Cabalinus se elaboraron los siguientes planos, en coordinación con los representantes de la hacienda:

- ING-AND-CAB-001 → Distribución del terreno hacienda Cabalinus.
- ING-AND-CAB-002 → Ubicación de nodos de la red WSN hacienda Cabalinus.
- ING-AND-CAB-003 → Ubicación de nodos de la red WSN (vita isométrica) hacienda Cabalinus.
- ING-AND-CAB-004 → Comunicación entre nodos de la red WSN hacienda Cabalinus.
- ING-AND-CAB-005 → Elementos de la WSN - conexión hacienda Cabalinus.
- ING-AND-CAB-006 → Detalle de instalación de nodos hacienda Cabalinus.

Los planos se encuentran en la sección de anexos.

4. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las necesidades del proyecto de la hacienda Cabalinus se planteó utilizar una WSN, ya que esta se

acopla a los requerimientos tanto del cliente como para su implementación en área en donde no existe infraestructura tecnológica.

- La aplicación global de un sistema de agricultura de precisión genera grandes ventajas para al agricultor, ya que permite tener mediciones de variable que ayudarán a la mejora en la calidad de las cosechas, a la mejor utilización de insumos importante dentro del cultivo generando un ahorro para el agricultor y una disminución en la contaminación ambiental.
- Para el diseño de la infraestructura de la WSN de la hacienda Cabalinus se decidió utilizar equipos Waspnote debido a sus características, la principal es ser modular, esto significa el poder incrementar prestaciones al nodo únicamente adicionándole módulos, con esto podrá aumentar la adquisición de datos importantes del cultivo.
- La ubicación correcta de los nodos, para evitar pérdidas de información, se la realizó mediante cálculos matemáticos, con estos valores se pudo determinar las distancias máximas que pueden tener dos nodos, las perdidas por la trayectoria, y un punto importante es determinar la altura a la que deben estar los nodos, mediante la primera zona de Fresnel, para evitar pérdidas por algún objeto que pueda estar presente en el terreno.
- Para la digitalización del mapa de la hacienda Cabalinus se tomaron puntos del terreno mediante GPS, y se procedió a la conversión de estos puntos a coordenada UTM. Este tipo de coordenada representan los valores en metros sobre nivel del mar permitiendo que sean utilizadas dentro de un software informático de dibujo como Autocad.

REFERENCIAS

- [1] Akyildiz, I. F., and Kasimoglu, I. H., "Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges," Ad Hoc Networks Journal (Elsevier), vol. 2, pp. 351-367, October 2004.
- [2] Iacono L., Godoy P., Párraga C., "A survey on the integration between WSN and TCP/IP networks", ISSN on line, Julio 2012.
- [3] D. Villón, "Diseño de una red de sensores inalámbricos para agricultura de precisión", Universidad Católica del Perú, Tesis de Ingeniería: Lima, 2009.
- [4] R. Bongiovanni, E. Chartuni, S. Best, A. Roel, "Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable", Junio 2006.
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE); IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and Information Exchange Between Systems- Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Std 802.15.4-2006: p. 1—305.
- [6] ZigBee Alliance; Zigbee-2006 specification, www.zigbee.org.
- [7] J. Francisco Merino Torres "Nuevas Tecnologías en el seguimiento y control del Paciente Diabético" [Online]. Disponible: <http://www.sediabetes.org/gestor/upload/00011420archivo.pdf>.
- [8] R. Ortega, L. Flores, "Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico", Chillan-Chile, 2013.
- [9] S. Farahani, "ZigBee Wireless Networks and Transceivers", Oxford UK, 2008.
- [10] M. Gil, "Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo AODV en redes ad hoc inalámbricas de gran escala", Madrid España, 2009.

